

Результаты анализа экспериментальных данных показывают, что при аналогичном содержании других легирующих элементов в исследуемых сталях, молибден, имеющийся в марках 5ХНМ и 34ХН1М, оказывает двойное влияние на интенсивность окисления. По данным [3] при малых концентрациях и температурах 600–1000 °С он образует соединение Fe_2MoO_4 , способствующее повышению защитных свойств окарины и замедляющее окаринообразование. В то же время известно, что при взаимодействии с кислородом молибден образует летучий оксид MoO_3 с температурами испарения и плавления около 600 и 795 °С, интенсивно разрыхляющий окарину и снижающий ее защитные свойства [1]. Это вероятно является причиной большего угара молибденсодержащих сталей по сравнению со сталью 40ХН при температурах 1150–1200 °С.

Стали 5ХНМ и 34ХН1М имеют примерно одинаковую интенсивность окисления во всем исследуемом температурном интервале, несмотря на то, что в стали марки 34ХН1М, по сравнению с маркой 5ХНМ, содержится почти в 2 раза больше хрома, способствующего повышению защитных свойств окарины.

В целях снижения угара при нагреве под обработку давлением для сталей марок 5ХНМ, 34ХН1М и других молибденсодержащих, аналогичных по составу, выдержку или томление с целью повышения равномерности нагрева и прогрева слитков или заготовок рекомендуется проводить при температурах менее 1000–1050 °С.

Список использованных источников

1. Темлянец М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением. М.: Теплотехник, 2006. 200 с.
2. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Кузелев М.Я. Безокислительный и малоокислительный нагрев стали под обработку давлением. М.: Машиностроение, 1968. 270 с.
3. Окисление и обезуглероживание стали / А.И. Ващенко [и др.]. М.: Metallurgia, 1972. 336 с.
4. Северденко В.П., Макушок Е.М., Равин Е.М. Окарина при горячей обработке металлов давлением. М.: Metallurgia, 1977. 208 с.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШИХТЫ НА ТЕМПЕРАТУРУ ГАЗА НА ВХОДЕ В ЗОНУ СУШКИ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Боковиков Б.А.*, Клейн В.И.*, Петрышев А.Ю.*, Ярошенко Ю.Г.*****

** ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург, Россия*

**** ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

В череде многочисленных процессов, составляющих технологию агломерации железорудных материалов, на начальной стадии наиболее важен процесс сушки шихты. Этот процесс довольно полно освещен в литературе [1; 4; 5]. Однако, его анализ, как правило, проводится изолировано от других процессов, т.е. материальные потоки (газа и шихты) рассматриваются как независимые переменные. В реальном же процессе производительность агломашины определяется не по завершению процесса сушки, а по окончанию процесса спекания. В то же время интенсивность сушки и степень переувлажнения шихты влияют на газодинамику слоя, т.е. на величину скорости фильтрации, определяющую производительность машины. Такая сложная взаимосвязь тепломассообменных и газодинамических характеристик слоя вынуждает рассматривать агломерационный процесс в обязательной взаимосвязи всех явлений, т.е. проводить полный теплотехнический расчет агломашины.

Для исследования закономерностей сушки и переувлажнения слоя агломерационной шихты использовали теплофизическую математическую модель, в которой тепло- и массо-

обмен в зоне сушки описан профессором Ф.Р. Шкляром наиболее точно [4] на основе данных Д.Б. Сполдинга [5]. Теплообмен по высоте слоя и физико-химические процессы, протекающие выше зоны сушки, в модели «НПВП ТОРЭКС» описаны с существенными уточнениями по сравнению с известной моделью Ю.А. Фролова [6]. В частности в процессе горения углерода учтены полидисперсность топлива и возможность увеличения зоны горения за счет дожигания оксида углерода.

В расчетах принята в качестве базы агломашина Абагурской аглофабрики площадью спекания 90 м^2 с высотой слоя 300 мм, длиной горна 6 м и с содержанием углерода в шихте 3,4 % (на сухую массу). Температура газа на входе в слой принята над I вакуум-камерой 500°C (на длине 1 м) и далее под горном в диапазоне $1050\text{--}980^\circ\text{C}$ (на основании экспериментальных данных).

При расчетных исследованиях процесса сушки варьировали входные параметры в следующих пределах:

для газа:

- скорость фильтрации $0,20\text{--}0,30 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ (постоянная по длине машины);
- влагосодержание 3,5–10,0 % по объему;

для шихты:

- влажность 6,4–8,7 % (на сухую массу);
- начальная температура $25\text{--}65^\circ\text{C}$;

Основная особенность методики расчетов заключалась в том, что при любом значении входных параметров всегда подбирали величину производительности машины (скорости движения тележек) так, чтобы верхняя граница зоны горения топлива в конце машины находилась на определенном расстоянии от границы «слой–постель», что соответствует условиям нормального ведения технологического процесса. Кроме этого следует учитывать то, что при варьировании таких параметров шихты, как влажность и температура, скорость фильтрации оставалась постоянной, т.е. возможные изменения газодинамического сопротивления слоя не учитывали и анализировали изменение только тепломассообменных условий процесса. Результаты моделирования получали в графическом виде (кроме полей численных значений переменных)

В отличие от обжиговых машин для производства окисленных окатышей, где температура теплоносителя в зонах сушки задается в соответствии со свойствами сырых окатышей в диапазоне $250\text{--}400^\circ\text{C}$, в агломерации температура газа на входе в зону сушки (T^1_c) является функцией многих параметров шихты и газа. При моделировании для определения T^1_c по расчетным полям переменных строили графики зависимости локальной температуры газа от влажности шихты в области $0 < U_{\text{ш}} < 5\%$, представляющие собой практически прямые линии, и экстраполировали их в точку $U_{\text{ш}} = 0$. Результаты этой экстраполяции представлены на рисунке 1 в виде зависимости T^1_c от основных параметров аглопроцесса.

На этих графиках видно, что скорость фильтрации (удельный расход газов) незначительно изменяет температуру газа на входе в зону сушки (рис. 1, а), тогда как повышение начальной температуры шихты с 25 до 65°C снижает T^1_c примерно на 50°C , а увеличение влажности на такую же величину повышает T^1_c (рис. 1, б). Это является результатом предынформации формирования отдельных зон в начальный период процесса сушки.

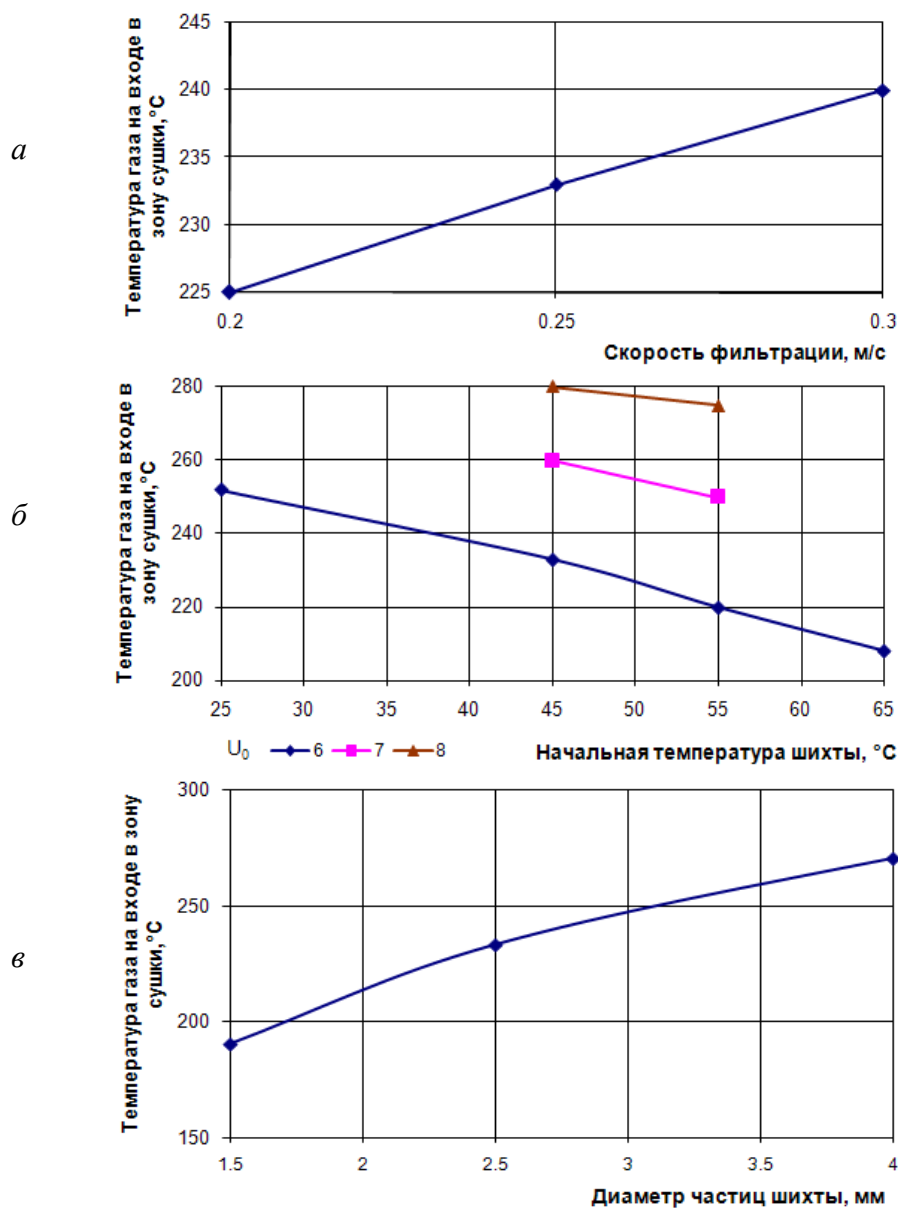


Рис. 1. Зависимость температуры газа на входе в зону сушки T_c^1 от скорости фильтрации теплоносителя W_ϕ – (а), начальной влажности шихты U_0 и начальной температуры шихты $t_{ш}$ – (б), диаметра частиц шихты $d_{ш}$ – (в)

Особенно сильно повышается T_c^1 при увеличении диаметра частиц шихты (при снижении удельной поверхности слоя). Для принятых пределов изменения удельной поверхности слоя T_c^1 меняется на 80 °C (рис. 1, в). Поскольку T_c^1 является потенциалом процесса сушки, следовательно, скорость испарения влаги практически пропорциональны величине T_c^1 . Как видно из рисунка 1, величина T_c^1 находится в пределах 200–300 °C (что значительно ниже, чем указано в работах [2; 4]) и изменение ее на 50–80 °C следует считать весьма существенным. Эти колебания T_c^1 в основной период процесса связаны с изменениями условий теплообмена в слое аглошихты, в том числе в зоне горения и на начальном участке машины.

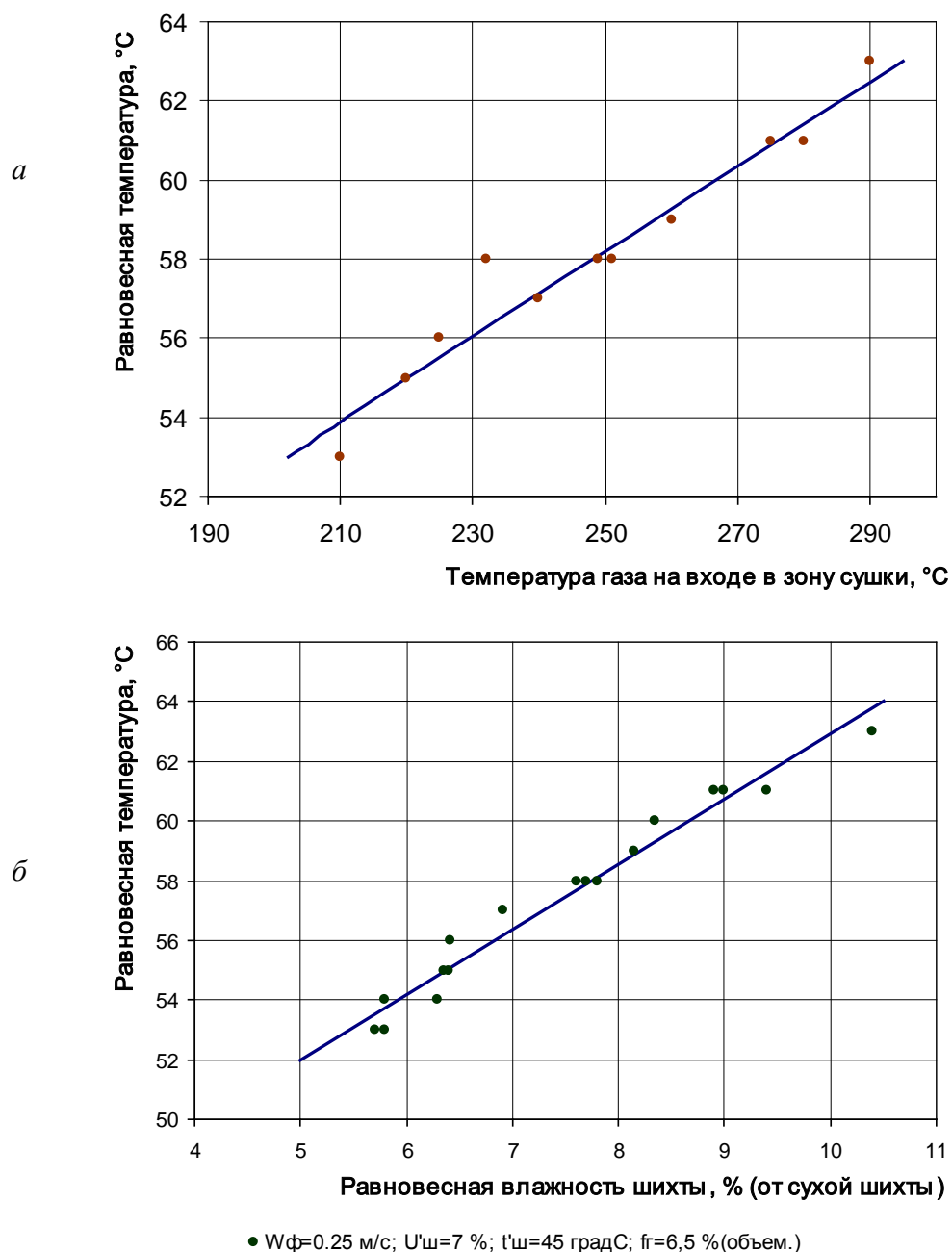


Рис. 2. Зависимость равновесной температуры (t_p) от температуры газа (a) на входе в зону сушки (T^1_c) и ее связь с равновесной влажностью шихты (U_p) (b)

Величина T^1_c , естественно, определяет и условия теплообмена в нижележащих горизонтах слоя, что приводит к изменению скорости сушки и равновесных значений температуры и влажности шихты. В агломерационном процессе многие параметры, теоретически влияющие на условия равновесия, изменяются в очень узких пределах. Так, например, влагосодержание газа над слоем может существенно изменяться только под горном, а зона сушки продолжается практически до конца машины, удельный расход газа (воздуха) при агломерации не может значительно изменяться при одинаковом содержании углерода в шихте (по результатам моделирования даже увеличение скорости фильтрации в 1,5 раза приводит к снижению удельного расхода воздуха только на 10 %). Поэтому, при агломерации основным фактором, определяющим равновесную температуру, является температура газа на входе в зону сушки, которая сама зависит от технологических факторов, как это видно из рисунка 2.

На рисунке 2, *a* представлена расчетная зависимость равновесной температуры от температуры газа на входе в зону сушки. В широком диапазоне параметров аглопроцесса (скорость фильтрации $W_{\phi} = 0,2-0,3$ м/с, влажность слоя $U_0 = 6-8$ %, температура шихты

$t_{ш} = 25\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$, влагосодержание газа $f_r = 3,5\text{--}10\%$) эта зависимость практически линейна, но из нее несколько «выпадает» влияние удельной поверхности шихты (диаметра частиц шихты), существенно изменяющий характер теплообмена по всей высоте слоя. В целом эти результаты по характеру зависимости близки к балансовым расчетам в работе [2]. На рисунке 2, б показана взаимосвязь равновесных значений температуры и влажности шихты, имеющая также практически линейный характер в широком диапазоне принятых исходных параметров, что естественно, поскольку эти величины связаны тепловым и материальным балансами. Эта связь может быть описана следующим простым соотношением:

$$t_p = 41 + 2,2 \cdot U_p, \quad (1)$$

где t_p – равновесная температура, $^{\circ}\text{C}$;

U_p – равновесная влажность шихты, % на сухую массу.

Расчетная зависимость t_p от входной температуры газа T_c^1 имеет вид:

$$t_p = 31,6 + 0,107 \cdot T_c^1, \quad (2)$$

отсюда зависимость U_p от T_c^1 получится в виде:

$$U_p = 0,049 \cdot T_c^1 - 4,3. \quad (3)$$

Таким образом, установлены следующие особенности развития процесса сушки.

1. Температура газа на входе в зону сушки (T_c^1) изменяется в узких пределах $200\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зависимости от параметров шихты и газа. При этом скорость фильтрации мало влияет на T_c^1 . Более существенно влияние параметров шихты, в том числе размеров ее частиц, т.е. удельной поверхности слоя.

2. Равновесная температура газа и шихты (t_p) определяется, главным образом, температурой газа на входе в зону сушки и в широком диапазоне входных параметров эта зависимость может быть описана линейной функцией вида $t_p = 31,6 + 0,107 \cdot T_c^1$. Равновесные значения температуры и влажности (U_p) шихты связаны тепловым и материальным балансом и по результатам моделирования эта связь имеет линейный характер и описывается соотношением $t_p = 41 + 2,2 \cdot U_p$.

Список использованных источников

1. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2003. 400 с.
2. Коротич В.В. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. М.: Металлургия, 1978. 205 с.
3. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. М.: Металлургия, 1967. 368 с.
4. Раева М.В., Шкляр Ф.Р., Фролов Ю.А. Модель тепло- и массообмена при сушке пористого слоя // Металлургическая теплотехника : темат. отр. сб. 1974. № 2. С. 154–162.
5. Споллдинг Д.Б. Конвективный массоперенос. М.: Энергия, 1965. 384 с. с ил.
6. Фролов Ю.А. Теплотехническое исследование процесса агломерации и совершенствование технологии и техники для производства агломерата: дисс. д-ра техн. наук.: 05.16.02, защищена 20.05.2005. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. 53 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Брусницын А.П., Киселев Е.В.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

На машиностроительных заводах, где по различным причинам не используется углеводородное топливо, имеется большой парк электропечей. В настоящее время к выпускаемой продукции предъявляются новые, высокие требования. Электрические печи, построенные по